

STUDI ANALISIS PENYEBAB KELONGSORAN DAN PERBAIKAN TANAH TIMBUNAN JALAN TOL RUAS PORONG-GEMPOL PAKET 3B STA 43+340 - STA 43+460

Himatul Farichah, Indrasurya B Mochtar, Putu Tantri Kumalasari
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: cichafarichah@gmail.com

Abstrak — Jalan Tol Surabaya-Gempol untuk ruas Porong dan Gempol terpotong ± 6 Km akibat terendam lumpur Sidoarjo. Penutupan ruas tersebut menyebabkan kemacetan arus lalu lintas di jalan arteri. Pemerintah melalui Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo (BPLS) dan PT. Jasa Marga (Persero) Tbk, akan merelokasi jalan tol ruas Surabaya-Gempol. Proyek pembangunan relokasi tersebut dibagi menjadi 2 paket, yaitu paket 3A dan paket 3B. Pada tugas akhir ini pembahasan difokuskan pada paket 3B yang dibangun dari Sta. 42+650 – Sta. 44+386,5 (1,736 Km). Salah satu pekerjaan yang menjadi major item adalah pekerjaan timbunan borrow material dengan timbunan tertinggi 7.8 meter dan 3.30 meter sisanya sebagai timbunan surcharge. Selama proses pelaksanaan pekerjaan berlangsung, selalu dilakukan monitoring Settlement dan Inklinometer di sisi kiri jalan yaitu arah gempol dan sisi kanan yaitu arah porong. Pada hari Selasa 18 Maret 2014 pukul 13.30 WIB, ternyata tiba-tiba terjadi penurunan tanah dan pergeseran tanah dasar yang berdampak bergesernya retaining wall dan longsornya timbunan sedalam 3.5 meter pada timbunan sisi kiri lokasi Sta. 43+340 s.d Sta 43+460. Sedangkan retaining wall dan timbunan pada sisi kanan hanya mengalami pergeseran beberapa sentimeter.

Dari hasil analisa penyebab kelongsoran ternyata kelongsoran terjadi karena data yang digunakan dalam perencanaan tidak mewakili kondisi tanah yang sesungguhnya. Karena data tanah yang digunakan dalam perencanaan diambil hanya pada tengah timbunan dan setiap 50 meter. Selain itu juga dapat dibuktikan dengan membandingkan data tanah S-5 dengan BM-1. Perencanaan Perkuatan timbunan diasumsikan untuk kondisi $H_{\text{timbunan}}=10.1$ m, $U=50\%$, $\phi_{\text{timbunan}}=30$, $\phi_{\text{tanah dasar}}=12$ dengan kondisi muka air rendah. Perencanaan perkuatan timbunan tidak memperhatikan kondisi ketika muka air tinggi. Perencanaan Perkuatan timbunan diasumsikan untuk kondisi $H_{\text{timbunan}}=9.1$ m, $U=100\%$, $\phi_{\text{timbunan}}=30$, $\phi_{\text{tanah dasar}}=9$. Padahal kenyataannya kondisi di lapangan adalah $H_{\text{timbunan}}=10.1$ m, $U=50\%$, $\phi_{\text{timbunan}}=30$, $\phi_{\text{tanah dasar}}=9$. Longsornya timbunan yang hanya sisi kiri bisa terjadi karena tanah dasar pada sisi kanan memang lebih bagus. Atau karena ketika didalam timbunan mengalami tekanan dan salah satu sisi nya sudah terlebih dahulu longsor. Maka sebagian tekanan (stress) didalam timbunan itu kemudian akan berkurang atau bahkan hilang.

Ada 4 alternatif yang dipakai untuk memperbaiki longsornya timbunan pada kasus ini. Diantaranya yaitu menggunakan geotextile, counterweight, struktur pile slab, dan slab column slab. Alternatif menggunakan geotextile, setelah dihitung menggunakan program bantu XSTABL, dibutuhkan geotextile sebanyak 15 lapis untuk zona 1 dan 12 lapis untuk zona 2. Geotextile direncanakan dipasang dengan jarak layer 0,30 m. Alternatif mengganti timbunan menjadi struktur pile slab direncanakan menggunakan tiang pancang dengan diameter 50 cm. Tiang pancang yang digunakan adalah tiang pancang wika kelas C. Untuk segmen 1 didapat kedalaman tiang pancang adalah 26 meter. segmen 2 adalah

23 meter, segmen 3 adalah 24 meter. Perkuatan timbunan menggunakan counterweight untuk sisi kiri didapatkan timbunan dengan slope 1:3, dengan panjang counterweight adalah 29,3 meter. sedangkan sisi kanan didapatkan timbunan dengan slope 1:2. Panjang counterweight 20 meter. Alternatif Perkuatan timbunan dengan mengganti sebagian timbunan menjadi slab column slab adalah dengan tinggi timbunan sisa nya menjadi 4 meter. Dimensi tebal plat atas adalah 40 cm, plat bawah adalah 30 cm. untuk dimensi kolomnya adalah 45x45 cm.

Dari segi biaya kebutuhan bahan, alternatif yang paling murah adalah counterweight. Tetapi jika dibandingkan dari segi pelaksanaan, maka alternatif yang dipilih adalah menggunakan geotextile.

Kata Kunci: Jalan Tol Porong-Gempol, kelongsoran, Retaining wall, counter weight, Tiang pancang, geotextile, Cerucuk, Slab Column slab, pile slab.

I. PENDAHULUAN

Jalan Tol Surabaya-Gempol untuk ruas Porong dan Gempol terpotong ± 6 Km akibat terendam lumpur Sidoarjo. Penutupan ruas tersebut menyebabkan kemacetan arus lalu lintas di jalan arteri. Pemerintah melalui Badan Penanggulangan Lumpur Sidoarjo (BPLS) dan PT. Jasa Marga (Persero) Tbk, akan merelokasi jalan tol ruas Surabaya-Gempol. Proyek pembangunan relokasi tersebut dibagi menjadi 2 paket, yaitu paket 3A dan paket 3B. Pada tugas akhir ini pembahasan difokuskan pada paket 3B yang dibangun dari Sta. 42+650 – Sta. 44+386,5 (1,736 Km). proyek tersebut mengalami kendala, yaitu mengalami longsor pada lokasi Sta. 43+340 s.d Sta 43+460 (Gambar 1)

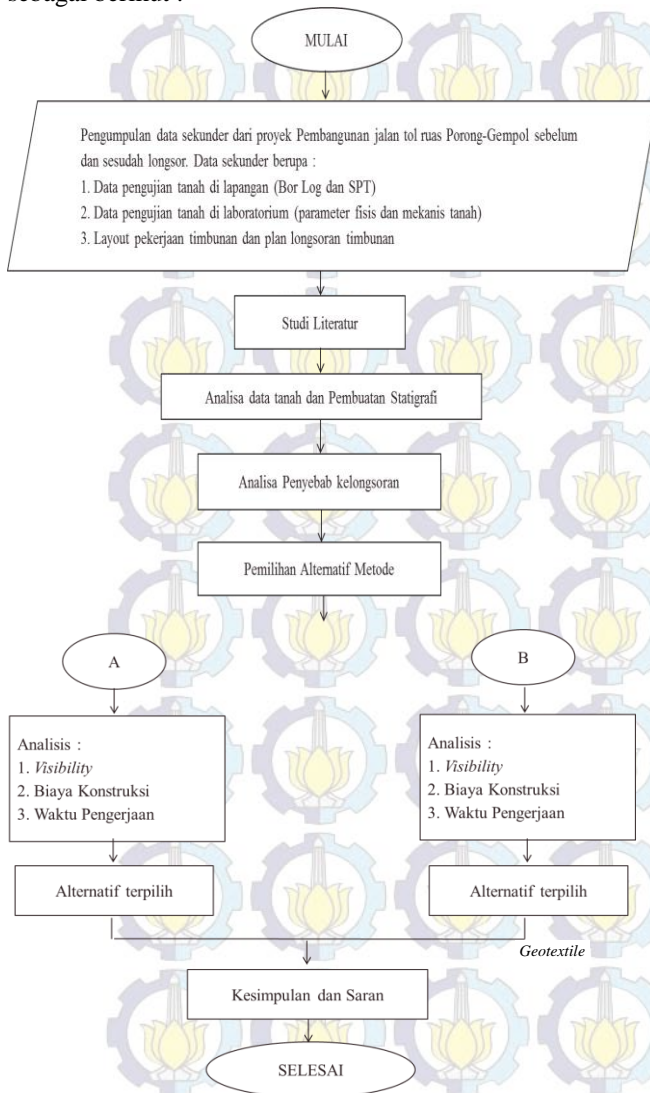


Gambar 1. Longsor pada Sta. 43+340 s.d Sta 43+460

Tugas Akhir ini membahas apakah penyebab kelongsoran, bagaimana perbaikan tanah timbunan yang longsor dan bagaimana perbaikan yang paling tepat dari segi biaya dan pelaksanaan.

II. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam Tugas Akhir ini ialah sebagai berikut :



Gambar 2. Metodologi tugas akhir

Penjelasan Metodologi lebih lengkap dapat dilihat pada buku Tugas Akhir Penulis [1].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data dan Analisis Parameter Tanah

Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah data N-SPT, Sondir dan data laboratorium hasil penyelidikan tanah Proyek Pembangunan jalan tol ruas Porong-Gempol paket 3B STA 43+340 - STA 43+460 yang dilakukan oleh PT. Waskita karya pada tahun 2012.

Dilakukan statigrafi antara data tanah yang sebelum dan data tanah sesudah longsor. Hasil statigrafi lebih lengkap dapat dilihat pada buku Tugas Akhir Penulis [1].

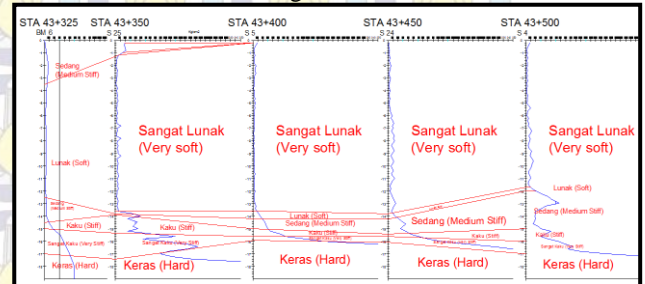
Data Tanah sebelum longsor

Terdapat 5 data tanah yang diambil sebelum longsor. Data tanah tersebut diambil di tengah ruas jalan (Gambar 3). Data tanah hasil pengeboran dianalisa menggunakan tabel korelasi Mochtar.2006. Dari ke 5 data tanah yang diambil sebelum longsor, terdapat satu data tanah nilai N-

SPT. Sebelum dilakukan stratigrafi, nilai N-SPT terlebih dahulu dikoreksi berdasarkan jenis tanah dan tegangan over burdent. Hasil stratigrafi bisa dilihat pada **Gambar 4**.

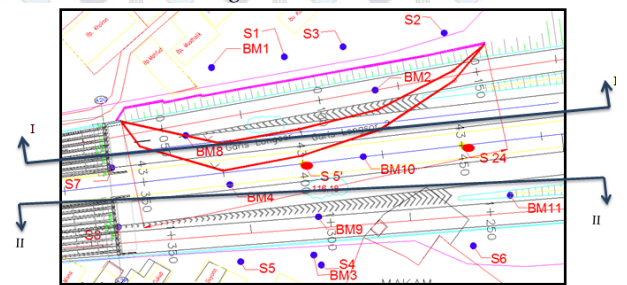


Gambar 3. Lokasi pengambilan data tanah sebelum longsor



Gambar 4. Stratigrafi data tanah sebelum longsor

Data Tanah sesudah longsor



Gambar 5 Stratigrafi data tanah sebelum longsor

Setelah terjadi kelongsoran pada proyek pembangunan jalan tol ruas Porong-Gempol paket 3B STA 43+340 - STA 43+460. Kemudian dilakukan pengambilan data tanah lagi disekitar lokasi proyek pada 15 titik yang berbeda sesuai pada **Gambar 5**. Hasil stratigrafi potongan I-I dapat dilihat pada Tabel 1 dan potongan II-II dapat dilihat pada Tabel 2.

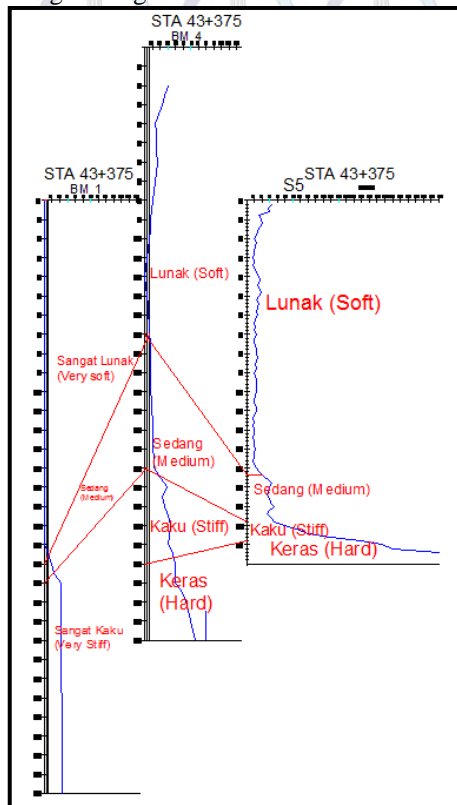
Tabel 1. Rekap konsistensi tanah pada pot I-I

Sta	Sta 43+365	Sta 43+375	Sta 43+400	Sta 43+420	Sta 43+425	Sta 43+450
konsistensi tanah	BM 8	BM 1	S 1	S 3	BM 2	S 2
Sangat lunak		0.0-18.0 m	0.0-2.2 m	0.0-2.8 m	2.5-10.0 m	0.0-3.0 m
Lunak		18.0-19.0 m	2.2-6.6 m	2.8-12.0 m	10.0-11.0 m	3.0-14.2 m
Sedang	1.0-9.5 m	19.0-20.0 m	6.6-17.4 m	12.0-16.0 m	11.0-11.5 m	14.2-15.2 m
Kaku	9.5-10.0 m		17.6-17.8 m	16.0-17.3 m	11.5-17.0 m	15.2-16.8 m
Sangat kaku	> 10.0 m	> 20.0 m	17.8-18.4 m	17.3-19.0 m	> 17.0 m	16.8-17.2 m
Keras			> 18.4 m	> 19.0 m		> 17.2 m

Tabel 2. Rekap konsistensi tanah pada pot II-II

Sta	Sta 43+375	Sta 43+400	Sta 43+420
Jenis Tanah	S 5	S 4	S 6
Sangat lunak		0.0-3.8 m	0.0-2.0 m
Lunak	0.0-14.3 m	3.8-14.8 m	2.0-7.0 m
Sedang	14.3-16.8 m	14.8-16.0 m	7.0-8.6 m
Kaku	16.8-17.4 m	16.0-16.6 m	8.6-15.2 m
Sangat kaku	17.4-17.8 m	16.6-17.0 m	15.2-16.8 m
Keras	> 17.8 m	> 17.0 m	> 16.8 m

Dari hasil analisa stratigrafi konsistensi tanah pada setiap sisi dan setiap Sta nya. Salah satu hasil statigrafi adalah pada **Gambar 6** dan **Tabel 3**. Dimana ada perbedaan kedalaman tanah mampu mampat pada sisi kiri, sisi tengah dengan sisi kanan.



Gambar 6. Potongan melintang pada Sta 43+375

Tabel 5. Rekap konsistensi tanah pada Sta 43+375

Sta	Sta 43+375	Sta 43+375	Sta 43+375
Jenis Tanah	BM 1	BM 4	S 5
Sangat lunak	0.0-18.0 m	2.0-7.5 m	
Lunak	18.0-19.0 m	7.5.0-14.0 m	0.0-14.2 m
Sedang	19.0-20.0 m	14.0-14.5 m	14.2-16.8 m
Kaku		14.5-21.0 m	16.8-17.8 m
Sangat kaku	> 20.0 m	> 21.0 m	15.2-16.8 m
Keras			> 17.8 m

Data Spesifikasi Bahan

1. Geotextile

Jenis geotekstil yang digunakan pada perencanaan ini adalah huesker stabilenka dengan *Tensile Strength* 200 kN/m.

3. Tiang pancang

Tiang pancang yang digunakan adalah tiang pancang produk Wika dengan diameter 50 cm kelas C dengan kekuatan aksial 169 ton.

Spesifikasi selengkapnya dapat dilihat pada [1].

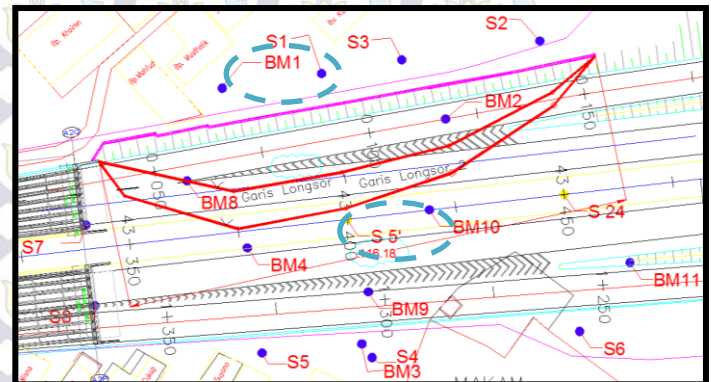
B. Analisa penyebab kelongsoran

Evaluasi data tanah

Perencanaan perkuatan timbunan awalnya berdasarkan data tanah yang diambil setiap 50 meter pada tengah timbunan. Jika dibandingkan salah satu data tanah yang diambil sebelum dan sesudah longsor yaitu S-5 (Sta 43+400) dengan BM-1 (Sta 43+375), S-24 diambil pada tengah timbunan sedangkan BM-1 diambil pada sisi kiri timbunan (Gambar 6). Dari hasil statigrafi pada bab

sebelumnya, ternyata kedalaman tanah medium kedua titik tersebut cukup jauh. Pada S-5 tanah medium hingga kedalaman -15.00 meter. Tetapi pada BM-1 tanah hingga kedalaman -20.00 meter. Antara data tanah S-5 dan BM-1 memiliki selisih kedalaman tanah medium hingga 5 meter. Padahal lokasi pengambilan data tanah tidak jauh beda.

Dari perbandingan kedua data tersebut dapat disimpulkan bahwa BM-1 (data tanah yang diambil sesudah longsor) lebih jelek dari pada S-5 (data tanah yang diambil sebelum longsor). Data tanah yang diambil hanya setiap 50 meter di tengah timbunan ternyata tidak mewakili data tanah sesungguhnya.



Gambar 6. Data tanah di sekitar lokasi kelongsoran

Evaluasi stabilitas timbunan

Evaluasi stabilitas timbunan menggunakan data tanah sebelum longsor

Hasil analisa menggunakan data tanah sebelum longsor pada , pada $H = 10.1$ meter dengan muka air tinggi dan ϕ tanah dasar = 9, diperoleh jumlah cerucuk = 5 buah. Ketika nilai $\phi = 12$ dengan muka air tinggi, jumlah cerucuk yang dibutuhkan juga masih lebih dari 2. Untuk kondisi muka air rendah dan ϕ tanah dasar = 9 diperoleh jumlah cerucuk = 3 buah setiap meternya. Tetapi ketika $\phi = 12$ jumlah perkuatan yang dibutuhkan adalah 2. Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan kondisi $H=10,1$ meter, ϕ timbunan = 30, nilai ϕ tanah dasar = 12, dan muka air rendah jumlah cerucuk yang dibutuhkan sama dengan jumlah cerucuk yang ada di lapangan. Selain itu, ternyata timbunan akan aman hanya ketika $H_{\text{timbunan}}=9.1$ m, $U=100\%$, $\phi_{\text{timbunan}}= 30$, $\phi_{\text{tanah dasar}}=9$ dan muka air rendah (timbunan tidak penuh air).

Evaluasi stabilitas timbunan menggunakan data tanah sesudah longsor

Hasil analisa menggunakan data tanah setelah longsor ternyata untuk kondisi tanah yang diambil pada tepi timbunan (BM-1), Perkuatan timbunan tidak ada yang memenuhi, baik dengan kondisi $H_{\text{timbunan}}=10.1$ meter atau $H_{\text{timbunan}}=9.1$ meter

Evaluasi lokasi longsor

Timbunan pada sisi kanan tidak ikut longsor, padahal memiliki kondisi tanah yang tidak beda jauh dengan sisi tengah. Sesuai perhitungan bahwa jumlah Perkuatan di lapangan untuk sisi kanan juga tidak memenuhi. Tetapi longsor hanya terjadi pada sisi kiri.

Penyebab kelongsoran

Mengacu pada pembahasan [1] maka dapat disimpulkan bahwa penyebab kelongsoran adalah karena hal sebagai berikut :

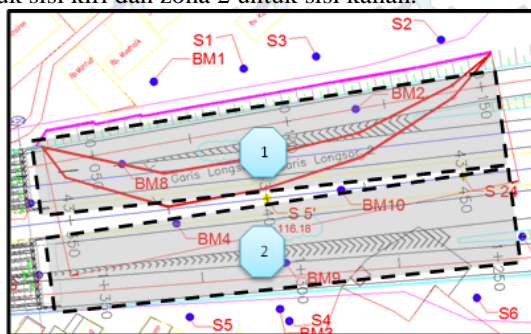
1. Data tanah yang digunakan dalam perencanaan tidak mewakili kondisi tanah yang sesungguhnya. Karena data tanah yang digunakan dalam perencanaan diambil hanya pada tengah timbunan dan setiap 50 meter. Selain itu juga dapat dibuktikan dengan membandingkan data tanah S-5 dengan BM-1.
2. Perencanaan Perkuatan timbunan diasumsikan untuk kondisi $H_{\text{timbunan}}=10.1 \text{ m}$, $U=50\%$, $\phi_{\text{timbunan}}=30$, $\phi_{\text{tanah dasar}}=12$ dengan kondisi muka air rendah. Perencanaan perkuatan timbunan tidak memperhatikan kondisi ketika muka air tinggi. Karena sesuai dengan teori Mochtar 2013 retakan awal arah memanjang pada tanah timbunan dapat mengakibatkan air hujan memasuki lubang keretakan saat hujan lebat dan mengisi penuh semua celah keretakan, sehingga menimbulkan tekanan tanah horizontal yang seolah-olah sama dengan MAT mengisi penuh seluruh tinggi timbunan.
3. Perencanaan Perkuatan timbunan diasumsikan untuk kondisi $H_{\text{timbunan}}=9.1 \text{ m}$, $U=100\%$, $\phi_{\text{timbunan}}=30$, $\phi_{\text{tanah dasar}}=9$. Padahal kenyataannya kondisi di lapangan adalah $H_{\text{timbunan}}=10.1 \text{ m}$, $U=50\%$, $\phi_{\text{timbunan}}=30$, $\phi_{\text{tanah dasar}}=9$.
4. Longsornya timbunan yang hanya sisi kiri bisa terjadi karena tanah dasar pada sisi kanan memang lebih bagus.

C. Perbaikan timbunan

Lokasi Perkuatan timbunan perlu Pada tugas akhir ini karena ada batasan masalah, maka fokus bahasan perbaikan hanya terbatas antara Sta 43+340 – Sta 43+480.

Geotextile Zona

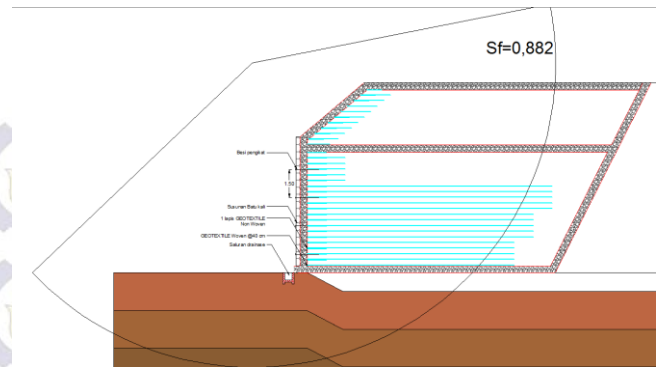
Dalam merencanakan Perkuatan menggunakan *geotextile*, dilakukan *zoning*. Ada dua zona (Gambar 7), yaitu zona 1 untuk sisi kiri dan zona 2 untuk sisi kanan.



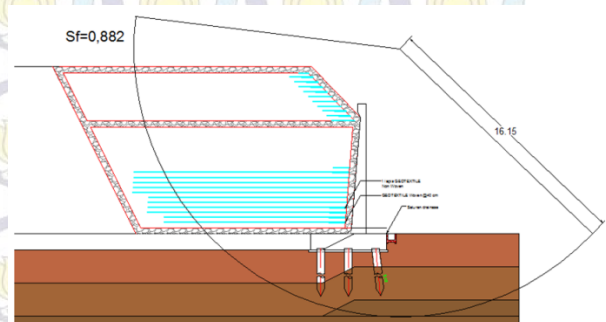
Gambar 7. Data tanah pada lokasi proyek

Kebutuhan geotextile

kebutuhan *geotextile* pada zona 1 sebanyak 15 lapis. Dan pada zona 2 sebanyak 12 lapis. Dengan masing-masing lapis adalah 1 lembar. Untuk menjaga agar muka air timbunan tetap rendah, maka direncanakan subdrain sesuai **Gambar 8** dan **Gambar 9**.

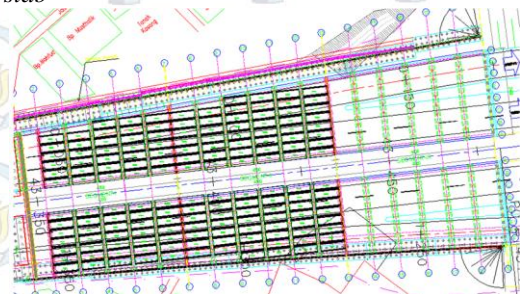


Gambar 8. Dimensi subdrain sisi kiri

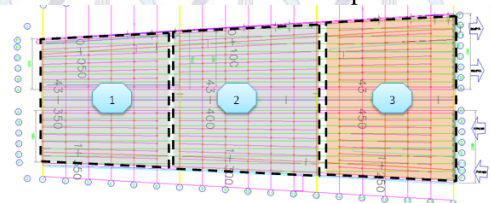


Gambar 9. Dimensi subdrain sisi kanan

Pile slab



Gambar 6.10 Pile slab tampak atas



Gambar 11. Pembagian zona pile slab

Pile slab tersebut terbagi menjadi 3 segmen (Gambar 11), segmen 1 dan segmen 2 direncanakan pihak lain dengan menggunakan plat precast. Sedangkan untuk segmen 3 direncanakan cor di tempat (in-situ).

Berdasarkan standar peraturan pembebanan untuk jembatan SNI T 02-2005. Ada 7 macam kombinasi pembebanan yang digunakan. Yaitu :

Tabel 3. Kombinasi pembebanan

Aksi	Kombinasi No.					
	1	2	3	4	5	6
Aksi tetap	X	X	X	X	X	X
Beban lalu lintas	X	X	X	X	-	-
Pengaruh temperatur	-	X	-	X	-	-
Arus/hanyutan/hidro/daya apung	X	X	X	X	X	-
Beban angin	-	-	X	X	-	-
Pengaruh gempa	-	-	-	-	X	-
Beban tumbukan	-	-	-	-	-	-
Beban pelaksanaan	-	-	-	-	-	-
Tegangan berlebihan yang diperbolehkan r_{os}	nil	25%	25%	40%	50%	30%

Dari ke-tujuh kombinasi tersebut digunakan 3 kombinasi yang paling sesuai. Kombinasi yang digunakan adalah :

1D+1L

1D+1L+1W

1D+1E

Tabel 4. Kombinasi pembebanan in-situ

komb	Pmax	Mx	My	Kenaikan Pijin	P beban (Kg)	
1D+1L	133254.8	3.19	-3.53	100%	133254.81	Menentukan
1D+1L+1W	148731.6	1.26	43.75	125%	118985.28	
1D+EX	103234.3	1.76	45.66	150%	68822.87	

Tabel 4. Kombinasi pembebanan precast

kombinasi	Pmax	Mx	My	Kenaikan ijin	P beban (kg)	
1D+1L	115508	0.05367	2.46	100%	115508	menentukan
1D+1L+1W	115508	0.05367	2.46	125%	92406.36	
1D+EX	98902.73	1.33	40.53	150%	65935.15	

kemudian dilakukan rekapitulasi terhadap gaya aksial maksimum yang terjadi. Kombiasi yang menentukan untuk segmen in-situ adalah 1D+1L dengan P sebesar 133254.81 kg = 133.254 ton (Tabel 4). . Kombiasi yang menentukan untuk segmen precast adalah 1D+1L dengan P sebesar 115508 kg = 115,508 ton (Tabel 5)

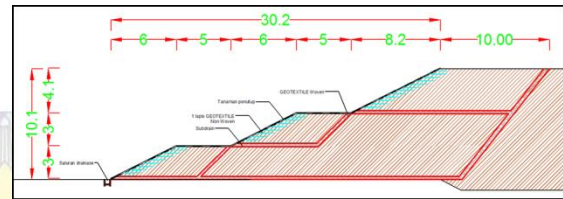
kedalaman tiang untuk segmen 1 adalah 26 m, segmen 2 adalah 23 m, dan segmen 3 adalah 24 m

Counterweight Zona 1

Tabel 1 dimensi counterweight

Rekapitulasi dimensi CW						
No	tipe	slope	L	A	tegak lurus	Vol
				(m ²)	gambar	(m ³)
1	A	1:4	38.2	190.11	140	26615.4
2	B	1:4	38.2	196.11	140	27455.4
3	A	1:3,5	34.2	165.01	140	23101.4
4	B	1:3,5	34.2	168.01	140	23521.4
5	A	1:3	29.2	151.11	140	21155.4
6	B	1:3	32.2	178.11	140	24935.4

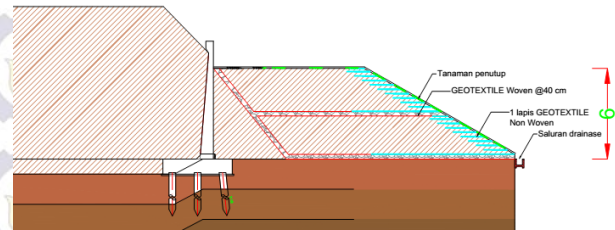
Ke enam variasi tersebut kemudian dibandingkan berdasarkan volume material (Tabel 1) yang dibutuhkan untuk mendapatkan perencanaan yang optimum. Dimensi dengan volume material paling sedikit dan tetap aman itulah yang dipilih. Sehingga dipilih *counterweight* tipe A dengan slope 1:3 dengan volume tanah timbunan yang dibutuhkan adalah sebesar 21.155,4 m³.



Gambar 7 desain subdrain Counterweight zona 1

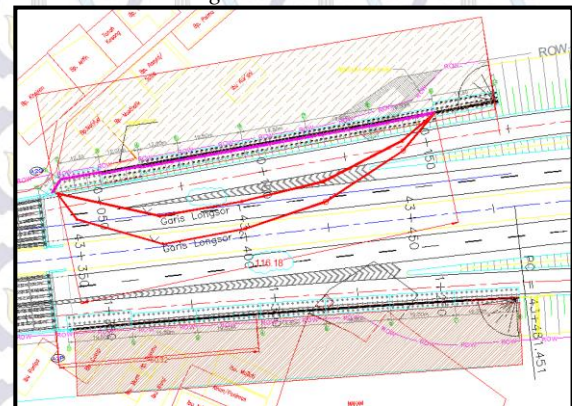
Zona 2

Sama seperti perencanaan counterweight sisi kiri. Untuk sisi kanan karena tiang pancang masih berfungsi sehingga kebutuhan counterweight yang diperlukan tidak sebesar sisi kiri.



Gambar 7 desain subdrain Counterweight zona 2

Denah counterweight



Gambar 8 denah counterweight

Slab column slab Tinggi timbunan

Berdasarkan analisa menggunakan program bantu stabl dan data tanah terjelek (BM1) maka tinggi timbunan sisanya adalah 5 meter (gambar 6.29). timbunan tersebut dengan asumsi muka air rendah, ϕ timbunan 30 dan ϕ tanah dasar adalah 9.

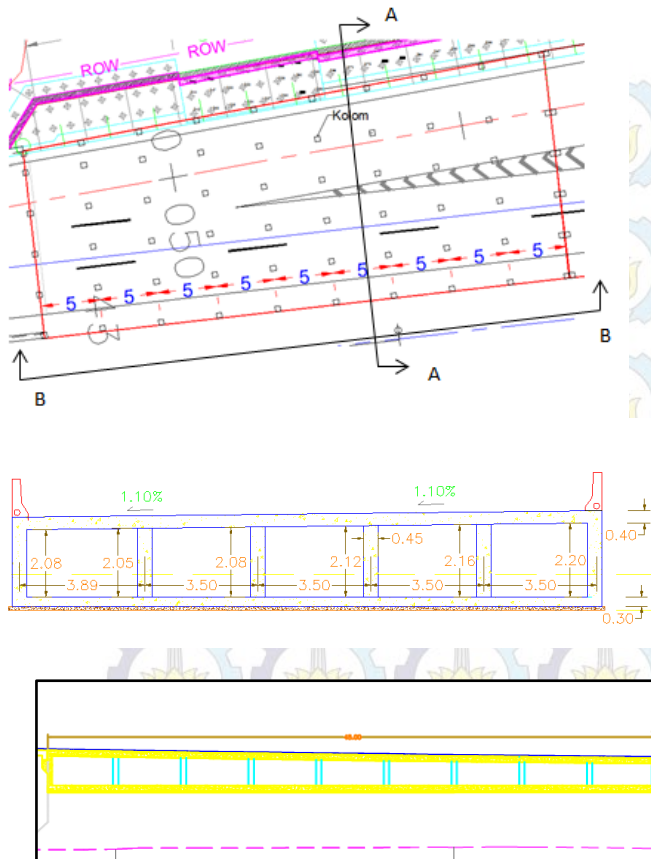
Perkuatan timbunan

Dengan geotextile sejumlah 4 lapis.

Tabel 2 jumlah Perkuatan geotextile

rekapitulasi jumlah geotextile						
No	FOS (BISHOP)	Resisting Moment (kN-m)	MD (kN-m)	SF rencana	ΔMR (kN-m)	n lembar
1	0.762	56720	74435.7	1.3	40046.4	4
2	1.263	7056	5586.698	1.3	206.7078	2
3	1.236	5156	4171.521	1.3	266.9773	2

Dimensi slab column slab



Perencanaan dimensi slab columbia slab hanya dilakukan pada satu sisi yang paling kritis. Untuk sisi yang lainnya menyesuaikan dengan lebar jalan. pada kasus ini direncanakan jarak antar kolom adalah 5 meter. sehingga untuk gambar tegak lurus nya ada 10 kolom.

D. Analisa biaya dan pelaksanaan

Apabila dilakukan rekapitulasi biaya dari semua alternatif, maka didapatkan ranking alternatif dari yang termurah hingga yang paling mahal (Tabel 3)

Tabel 3. Rekapitulasi biaya alternatif yang ada

No	Alternatif	Biaya	Rangking
1	Geotextile	Rp3,908,089,080.00	2
2	Pile Slab	Rp5,635,955,000.00	4
3	Counterweight	Rp1,890,302,400	1
4	Slab columb slab	Rp5,472,562,772.00	3

biaya alternative yang termurah adalah menggunakan counterweight. Tetapi dari hasil analisa pelaksanaan, alternatif Perkuatan timbunan menggunakan *counterweight* membutuhkan lahan yang luas, sehingga harus ada pembebasan lahan untuk sisi kiri dan sisi kanan. Luas lahan yang harus di bebaskan adalah mencapai $86.840 \text{ m}^2 = 8,6 \text{ Ha}$. Harga pembebasan lahan di Surabaya mencapai $3.000.000,00$ setiap m^2 . Sehingga untuk biaya pembebasan lahan bisa mencapai 260 milyar. Selain itu juga proses pembebasan lahan akan memakan waktu yang lama untuk proses negosiasi. Sehingga walaupun dari segi biaya kebutuhan bahan alternatif 1 adalah yang paling murah, tetapi dari segi pelaksanaan, Alternatif *counterweight* membutuhkan biaya yang paling mahal.

Untuk alternatif dengan biaya termurah selanjutnya adalah geotextile, selisih antara alternatif geotextile dengan metode termurah ke-3 adalah lebih dari 1 milyar. Proses pelaksanaan untuk alternatif ke 2 dan 3 keduanya sama-sama ada kegiatan penggalian. Jadi dari segi pelaksanaan tidak berbeda jauh. Oleh karena itu, dari segi biaya dan harga yang murah, didapatkan kesimpulan bahwa alternative menggunakan geotextile.

E. Kesimpulan dan saran

Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan tugas akhir yang berjudul “Studi analisis penyebab kelongsoran dan perbaikan tanah timbunan proyek pembangunan Jalan Tol ruas Porong-Gempol Sta. 43+340 s.d Sta 43+460” ini dapat ditarik beberapa kesimpulan. Diantaranya sebagai berikut :

- Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa longsornya timbunan disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut :
 - Data yang digunakan dalam perencanaan tidak mewakili kondisi tanah yang sesungguhnya. Karena data tanah yang digunakan dalam perencanaan diambil hanya pada tengah timbunan dan setiap 50 meter. Selain itu juga dapat dibuktikan dengan membandingkan data tanah S-5 dengan BM-1.
 - Perencanaan Perkuatan timbunan diasumsikan untuk kondisi $H_{\text{timbunan}}=10.1 \text{ m}$, $U=50\%$, $\phi_{\text{timbunan}}=30$, $\phi_{\text{tanah dasar}}=12$ dengan kondisi muka air rendah. Perencanaan perkuatan timbunan tidak memperhatikan kondisi ketika muka air tinggi. Karena sesuai dengan teori Mochtar 2013 retakan awal arah memanjang pada tanah timbunan dapat mengakibatkan air hujan memasuki lubang keretakan saat hujan lebat dan mengisi penuh semua celah keretakan, sehingga menimbulkan tekanan tanah horizontal yang seolah-olah sama dengan MAT mengisi penuh seluruh tinggi timbunan.
 - Perencanaan Perkuatan timbunan diasumsikan untuk kondisi $H_{\text{timbunan}}=9.1 \text{ m}$, $U=100\%$, $\phi_{\text{timbunan}}=30$, $\phi_{\text{tanah dasar}}=9$. Padahal kenyataannya kondisi di lapangan adalah $H_{\text{timbunan}}=10.1 \text{ m}$, $U=50\%$, $\phi_{\text{timbunan}}=30$, $\phi_{\text{tanah dasar}}=9$.
 - Longsornya timbunan yang hanya sisi kiri bisa terjadi karena tanah dasar pada sisi kanan memang lebih bagus. Atau karena ketika didalam timbunan mengalami tekanan dan salah satu sisi nya sudah terlebih dahulu longsor. Maka sebagian tekanan (stress) didalam timbunan itu kemudian akan berkurang atau bahkan hilang.
- Ada 4 alternatif yang dipakai untuk memperbaiki longsornya timbunan pada kasus ini. Diantaranya yaitu menggunakan *geotextile*, *counterweight*, struktur *pile slab*, dan *slab column slab*.
 - Alternatif menggunakan geotextile, setelah dihitung menggunakan program bantu XSTABL, dibutuhkan geotextile sebanyak 15 lapis untuk zona 1 dan 12 lapis untuk zona 2. Geotextile direncanakan dipasang dengan jarak layer 0,30 m.

- b Alternatif mengganti timbunan menjadi struktur pile slab direncanakan menggunakan tiang pancang dengan diameter 50 cm. Tiang pancang yang digunakan adalah tiang pancang wika kelas C. Untuk segmen 1 didapat kedalamannya tiang pancang adalah 26 meter. segmen 2 adalah 23 meter, segmen 3 adalah 24 meter.
 - c Perkuatan timbunan menggunakan *counterweight* untuk sisi kiri didapatkan timbunan dengan slope 1:3, dengan panjang *counterweight* adalah 29,3 meter. sedangkan sisi kanan didapatkan timbunan dengan slope 1:2. Panjang *counterweight* 20 meter.
 - d Alternatif Perkuatan timbunan dengan mengganti sebagian timbunan menjadi *slab column slab* adalah dengan tinggi timbunan sisa nya menjadi 4 meter. Dimensi tebal plat atas adalah 40 cm, plat bawah adalah 30 cm. untuk dimensi kolomnya adalah 45x45 cm.
3. Dari ke empat alternatif kemudian dibandingkan terhadap biaya dan pelaksanaan. Dari segi biaya kebutuhan bahan, alternatif yang paling murah adalah *counterweight*. Tetapi jika dibandingkan dari segi pelaksanaan, maka alternatif yang dipilih adalah menggunakan *geotextile*.

Setelah dilakukan perhitungan dan analisa, penulis memberikan saran yaitu :

1. Untuk perencanaan Perkuatan timbunan jalan pada tanah lunak, sebaiknya data tanah yang diambil lebih banyak lagi. Tidak hanya pada sisi tengah timbunan yang direncanakan untuk jalan. Tetapi juga pada lokasi yang dekat dengan Perkuatan timbunan.
2. Khusus di Belakang opit jembatan, perlu dilakukan pengambilan lokasi atau titik data tanah yang lebih banyak. Sehingga data tanah tersebut memang dapat mewakili dan membuktikan keabsahan data tanah di lapangan.
3. Pelaksanaan di lapangan harus sesuai dengan perencanaan. Apabila Perkuatan direncanakan untuk $U=100\%$, maka pelaksanaan harus dilakukan sesuai dengan perencanaan.
4. Dalam melakukan desain harus membandingkan data tanah antar hasil lab. Hasil Triaxial Unconsolidated Undrained (TXUU), rentang nilai ϕ adalah antara 5-11.8 maka harus dibandingkan dengan data ayakan mengenai dominasi tanah. Kohesif atau non kohesif, tidak asal pakai nilai ϕ tanah dasar.
5. Perencanaan Perkuatan timbunan harus mempertimbangkan kondisi ketika muka air tinggi (Timbunan penuh dengan air) akibat hujan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Das, Braja M. 1988. *Mekanika Tanah 1: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik*. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.
- [2] Das, Braja M. 1988. *Mekanika Tanah 2: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik*. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.
- [3] Das, Braja M. 2010. *Principles of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning
- [4] Mochtar, Indrasurya B. 2000. *Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan pada Tanah Bermasalah (Problematic Soils)*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS.
- [5] Mochtar, Noor Endah. 2012. *Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah*. Surabaya: ITS Press.
- [6] Wahyudi, Herman. 1999. *Daya Dukung Pondasi Dalam*. Surabaya. Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS